

Modelowanie koron i ocena dokładności odwzorowania kształtu filarów protetycznych

Streszczenie. Celem opracowania była ocena in vitro dokładności odwzorowania pola protetycznego z zastosowaniem różnych mas wyciskowych. Dla porównania dokładności kształtu odwzorowanych numerycznie rzeczywistych filarów protetycznych z modelami filarów testowych uzyskanych techniką replik zastosowano program Geomagic Qualify. Badania pozwoliły stwierdzić, że dokładność wymiarowa modeli filarów protetycznych uzyskanych z wykorzystaniem badanych mas elastycznych, zapewnia odwzorowanie kształtu dla procedur modelowania i wykonawstwa koron.

Abstract. The aim of the study was to evaluate in vitro the accuracy of the prosthetic field mapping using different impression materials. For comparison, the accuracy of the shape of the mapped numerically the real prosthetic abutments with models of the test abutments obtained a replica technique used program Geomagic Qualify. The study revealed that dimensional accuracy of the models prosthetic abutments obtained with the using of surveyed the elastic masses, provides mapping the shape for the modeling procedures and execution of crowns. (**Modeling crowns and assessment of the accuracy of mapping the shape of prosthetic abutments**).

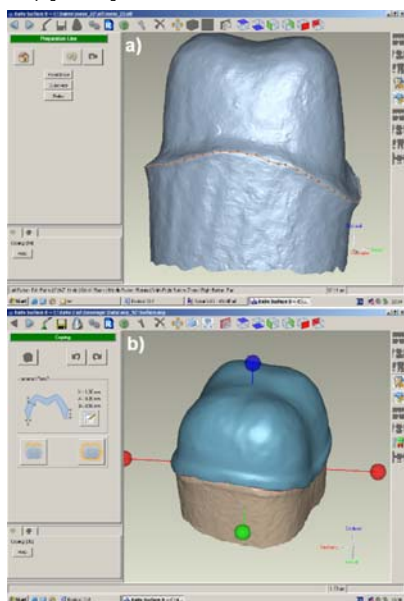
Słowa kluczowe: filar protetyczny, technika replik, modele numeryczne, analiza 3D, błędy kształtu.

Keywords: prosthetic abutment, a replica technique, numerical models, the analysis of 3D, shape errors.

doi:10.12915/pe.2014.05.34

Wprowadzenie

W procesie wykonawstwa koron protetycznych bardzo ważną procedurą jest dokładność odwzorowania kształtu opracowanego filara protetycznego w tworzonej indywidualnie dla pacjenta konstrukcji stałej [1-5]. Na dokładność tego odwzorowania ma wpływ: leczenie przedprotetyczne oraz wstępne etapy leczenia protetycznego, sposób przygotowania i opracowania zęba filarowego, precyzja jego odwzorowania oraz tkanek sąsiednich, dokładność modeli jak również dokładność wykonania oraz odwzorowania kształtu w procesach technologicznych. Na każdym etapie tych procedur mogą wystąpić błędy odwzorowania, które będą decydowały o warunkach osadzenia korony i jej szczelności względem filara, co ostatecznie zadecyduje o powodzeniu leczenia, jego skuteczności i długoterminowości. Analiza geometryczna korony obejmuje ukształtowanie strefy przydziąsłowej, ocenę szczelności brzeżnej oraz dopasowanie między filarem zębowym, a podbudową korony (Rys.1) [4,6-8].



Rys.1 Modelowanie rekonstrukcji protetycznej w systemie CAD/CAM (Kavo Everest firmy KaVo): a) wyznaczenie preparacji na zębie filarowym, b) projektowanie podbudowy.

Cel

Celem opracowania była ocena in vitro dokładności odwzorowania pola protetycznego z zastosowaniem różnych mas wyciskowych, w aspekcie klinicznych procedur in vivo.

Zastosowana metodyka pozwoliła odpowiedzieć na następujące pytania:

1. z wykorzystaniem której masy można uzyskać najlepsze dopasowanie do opracowanego klinicznie rzeczywistego filara protetycznego,
2. która z mas elastycznych charakteryzuje się najlepszą dokładnością odwzorowania ze względu na swoje parametry reologiczne i kompatybilność w procesie odlewania,
3. którą masą przy pobraniu wycisku negatywowego można uzyskać docelowo najlepszą szczelność koron.

Materiał i metoda badań

Materiałem badań były zęby przedtrzonowe szczęki i trzonowe żuchwy w liczbie po 10 sztuk, usunięte ze wskazań periodontologicznych i ortodontycznych. Zęby zostały ustabilizowane w podstawkach akrylowych i odpowiednio oszlifowane ze stopniem pełnym rozwartym celem zaopatrzenia ich koronami protetycznymi. Kąt rozwarcia stopnia wynosił $140^{\circ} \pm 4^{\circ}$. Następnie przeprowadzono skanowanie tak opracowanych filarów protetycznych oraz wykonano przestrzenne rekonstrukcje CAD, które stanowiły modele referencyjne. Skanowanie przeprowadzono z zastosowaniem skanera optycznego o zmiennej szerokości prążków światła strukturalnego - systemu Everest scan pro 06 1086 firmy KaVo. Precyzja pomiarów wynosiła 20 μ m. W kolejnej procedurze pobrano wyciski - modele negatywowe opracowanych filarów zębowych następującymi masami wyciskowymi:

1. silikonową addycyjną o konsystencji gęstej Bisico S1 soft firmy Bisico,
2. silikonową addycyjną o konsystencji gęstej Bisico S1 soft oraz wycisk dopełniający masą rzadką Bisico Super Hydrophil S4 Suhy firmy Bisico – wyciski dwuczaskowe,
3. alginatową klasy A z chromatycznym wskaźnikiem fazy Kromopan 100 firmy Lascod – mieszaną mechanicznie,
4. polieterową o średniej gęstości Impregum Penta oraz wycisk dopełniający Permadyne Galant firmy 3M ESPE – wyciski dwuczaskowe,
5. silikonową kondensacyjną Zeta Plus firmy Zhermack,

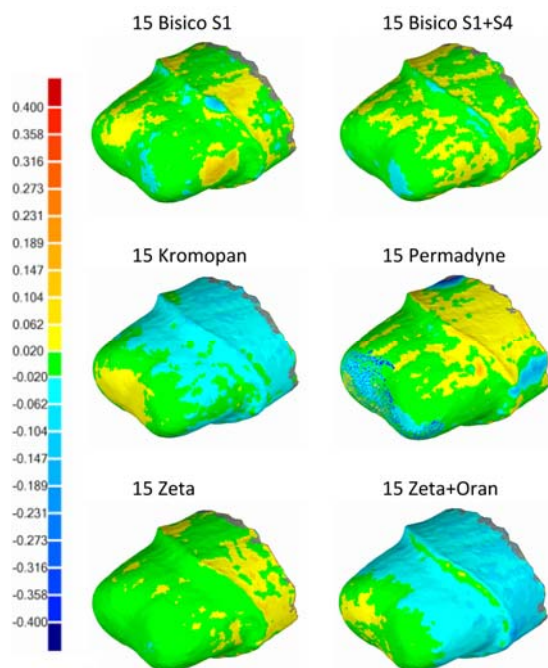
6. silikonową kondensacyjną Zeta Plus firmy Zhermack oraz wycisk dopełniający Oranwash firmy Zhermack – wyciski dwuczaskowe.

Na podstawie tych wycisków po 1 godzinie odlano modele gipsowe kikutów zębów filarowych z wykorzystaniem super twardego gipsu typu IV Fujirock EP Pastel Yellow firmy Fuji. Uzyskane fizyczne modele gipsowe opracowanych zębów filarowych odwzorowanych różnymi masami skanowano z zastosowaniem tego samego skanera Everest scan pro. Utworzono w ten sposób 120 wirtualnych, przestrzennych modeli testowych.

Dla porównania dokładności kształtu odwzorowanych numerycznie rzeczywistych filarów protetycznych (referencyjnych) z modelami filarów testowych uzyskanych na podstawie modeli negatywowych z wykorzystaniem różnych mas wyciskowych zastosowano program Geomagic Qualify. Program ten, w procedurze najlepszego dopasowania kształtu, ustawia automatycznie porównywane bryły, a następnie identyfikuje dodatnie i ujemne odchyłki wynikające z dokładności odwzorowania kształtu modelu testowego zęba filarowego względem modelu referencyjnego.

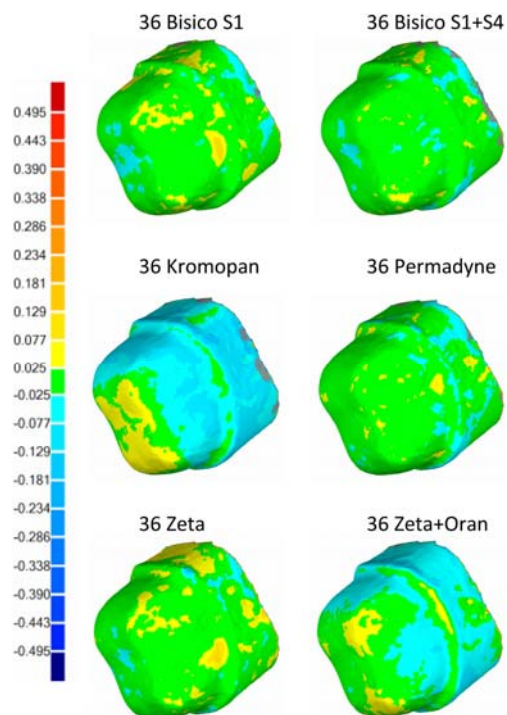
Wyniki badań

Program Geomagic Qualify umożliwił porównanie dopasowania zębów filarowych do odlewów gipsowych tych zębów uzyskanych jako repliki na podstawie modeli negatywowych z zastosowaniem różnych mas wyciskowych. W procedurach badawczych przeprowadzono analizy dla 10 filarów zębów przedtrzonowych i 10 filarów zębów trzonowych. Dla każdego z tych filarów wykonano odlewy gipsowe poprzez odwzorowanie negatywowe sześcioma masami wyciskowymi. Na rysunku 2 i 3 zamieszczono wybrane mapy błędów odwzorowania kształtu filarów zębów przedtrzonowych i trzonowych przy wykorzystaniu klinicznych mas elastycznych.



Rys.2. Mapa błędów odwzorowania kształtu filarów zębów przedtrzonowych z wykorzystaniem różnych mas wyciskowych

Analizy raportów, w formie map i zestawień zbiorczych wskazują, że wszystkie histogramy i mapy charakteryzują się symetrycznym rozkładem i małymi wartościami dodatnich i ujemnych odchyłek kształtu (Tab.1).



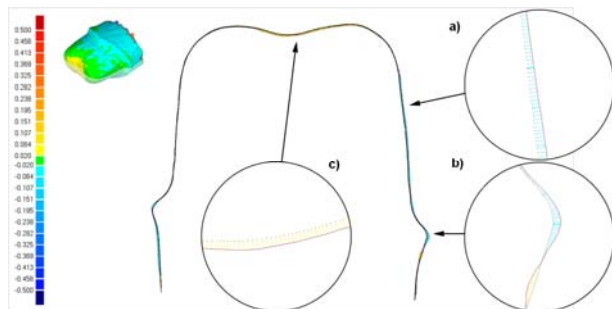
Rys.3. Mapa błędów odwzorowania kształtu filarów zębów trzonowych z wykorzystaniem różnych mas wyciskowych

Tabela 1. Zestawienie zbiorcze maksymalnych i minimalnych odchyłek kształtu filarów zębów przedtrzonowych i trzonowych wraz z odchyleniem standardowym.

Filar	Rodzaj masy	Odchyłki dokładności odwzorowania kształtu zębów filarowych, mm		
		Odchyłki 3D max	Odchyłki 3D min	Odchylenie standardowe
Zęby przedtrzonowe 15	Bisico S1	0,401	-0,399	0,049
	Bisico S1+S4	0,230	-0,230	0,038
	Kromopan	0,400	-0,392	0,051
	Impregum+Permadyne	0,280	-0,280	0,041
	Zeta	0,400	-0,398	0,055
	Zeta + Oranwash	0,340	-0,341	0,048
Zęby trzonowe 36	Bisico S1	0,496	-0,496	0,062
	Bisico S1+S4	0,240	-0,243	0,042
	Kromopan	0,496	-0,495	0,074
	Impregum+Permadyne	0,265	-0,262	0,045
	Zeta	0,497	-0,497	0,072
	Zeta + Oranwash	0,363	-0,367	0,050

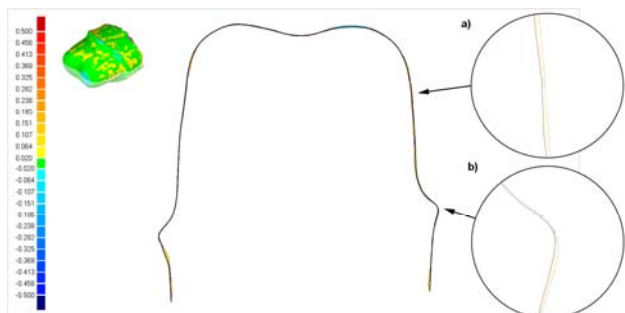
Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że wszystkie badane masy zapewniają właściwe odwzorowanie kształtu filarów protetycznych. W odwzorowaniach z wykorzystaniem mas: silikonowych addycyjnych Bisico S1 soft i wycisk dopełniający Bisico Super Hydrophil S4 Suhy, polieterowych Impregum Penta i wycisk dopełniający Permadyne Galant oraz silikonowych kondensacyjnych Zeta Plus i wycisk dopełniający Oranwash stwierdzono rozkłady odchyłek dodatnich i ujemnych o bardzo małych wartościach (Rys.2, 3). Charakter odwzorowania obszarów wklęsłych i wypukłych związany z parametrami reologicznymi użytej masy zaobserwowano dla odwzorowań następującymi masami: hydrokoloidową Kromopan oraz wycisku dwuczaskowego, dwuwarstwowego masą silikonową kondensacyjną Zeta Plus i Oranwash (Rys.2, 3, 4). W obu zestawach stwierdzono odchyłki dodatnie – w strefie opracowanej powierzchni okluzyjnej,

odchyłki ujemne – w strefie ściany bocznej. Dla obu tych mas zauważono, że ukierunkowanie strefy płynięcia oraz lokalizacja i kształt odwzorowywanego obszaru mają wpływ na wystąpienie odchyłek dodatnich i ujemnych w stosunku do modelu referencyjnego. Ponadto dla odwzorowań filarów zębowych na podstawie masy Kromopan stwierdzono niekorzystny rozkład odchyłek na odwzorowywanym stopniu – wprawdzie o niewielkich wartościach, ale zmieniających się z dodatnich na ujemne – co w warunkach dopasowania kształtu będzie powodowało wystąpienie błędu sumacyjnego (Rys.4).



Rys.4 Rozkład odchyłek dokładności odwzorowania kształtu filarowego zęba przedtrzonowego z wykorzystaniem masy Kromopan w przekroju płaszczyzną czołową: a) strefa ściany bocznej, b) strefa stopnia, c) strefa opracowanej powierzchni okluzyjnej

Najlepszą dokładnością odwzorowania kształtu rzeczywistego filara protetycznego wyróżniają się odlewy filarów gipsowych uzyskane na podstawie wycisków negatywowych dwuczaskowych, dwuwarstwowych silikonową masą addycyjną o konsystencji gęstej Bisico S1 soft oraz silikonową addycyjną o konsystencji rzadkiej Bisico Super Hydrophil S4 Suhy (Rys.5). Ponadto z wykorzystaniem tych dwuczaskowych, dwuwarstwowych wycisków Bisico S1 soft i Bisico Super Hydrophil S4 Suhy osiągnięto najlepszą ostrokonturowość w strefie stopnia. Porównywalną ostrokonturowością charakteryzuje się odwzorowanie stopnia masą Bisico S1 soft (Rys.5, 6).

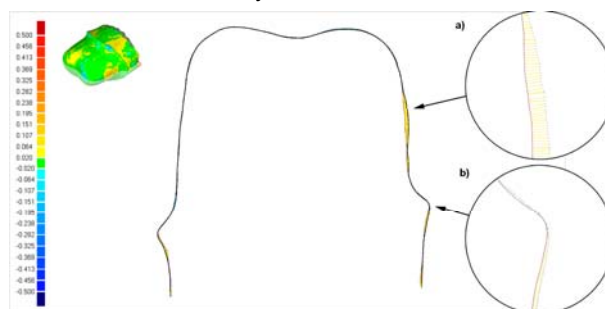


Rys.5 Rozkład odchyłek dokładności odwzorowania kształtu filarowego zęba przedtrzonowego z wykorzystaniem masy Bisico S1 soft i Bisico Super Hydrophil S4 Suhy w przekroju płaszczyzną czołową: a) strefa ściany bocznej, b) strefa stopnia

Odwzorowania zębów filarowych z zastosowaniem wycisków następujących mas elastycznych: silikonowych addycyjnych oraz kondensacyjnych stosowanych w wyciskach dwuczaskowych, dwuwarstwowych oraz polieteryowych stosowanych w wyciskach dwuwarstwowych, dwuczaskowych zapewniły optymalną dokładność, polegającą na najlepszym dopasowaniu do klinicznie opracowanego filara protetycznego oraz najlepszą ostrokonturowość w strefie odwzorowywanego stopnia.

Korzystając z licencjonowanego programu Statistica wykonano analizę statystyczną uzyskanych wyników. W pierwszym etapie otrzymane wyniki poddano analizie

z zastosowaniem statystyki opisowej. Badano również rozkłady poszczególnych zmiennych przy użyciu testu Shapiro-Wilka, przedstawiając je w formie liczbowej i graficznej. Rozkłady empiryczne zmiennych jakościowych opisywano poprzez podanie liczebności absolutnych oraz częstości względnych (procenty). Rozkłady empiryczne zmiennych ilościowych opisywano poprzez podanie wartości średnich, odchyłek standardowych oraz wartości minimalnych i maksymalnych. Istotność różnic pomiędzy dwoma niezależnymi rozkładami zmiennych jakościowych testowano za pomocą testu chi-kwadrat. Istotność różnic pomiędzy dwoma rozkładami zmiennych ilościowych testowano za pomocą testu t-Studenta w przypadku porównywania grup niezależnych. W przypadku porównywania grup powiązanych stosowano test t-Studenta dla prób zależnych. Testowanie grup o rozkładzie normalnym odbywało się z zastosowaniem testu t-Studenta, natomiast grup o rozkładzie niezgodnym z normalnym – testem U-Manna-Whitneya.



Rys.6 Rozkład odchyłek dokładności odwzorowania kształtu filarowego zęba przedtrzonowego z wykorzystaniem masy Bisico S1 soft i w przekroju płaszczyzną czołową: a) strefa ściany bocznej, b) strefa stopnia

Omówienie i dyskusja

Zastosowany program stanowi wiarygodne narzędzie do analizy geometrycznej opracowanych klinicznie zębów filarów protetycznych. Z uwagi na bardzo dobrą wizualizację analizowanych kształtów może on weryfikować pracę lekarza protetyka, który opracowanie zęba pod koronę – zębów filar protetyczny wykonuje w procedurze szlifowania wiertłem z wolnej ręki. Procedura ta wymaga, aby w zbiegu oszczędzającym tkanki oraz odpowiedniej preparacji strefy przydziąsłowej utworzyć na obwodzie zęba stopień ze stałym kątem rozwarcia. Celem takiego opracowania zęba jest stworzenie warunków do osadzenia wykonywanej korony, która będzie miała odpowiednią szczelność i retencję oraz nie wystąpią strefy spiętrzenia naprężeń w okluzji i żuciu.

Dokładność odwzorowania można ocenić poprzez dopasowanie lub szczelność konstrukcji. Dla długoterminowej skutecznej terapii z wykorzystaniem uzupełnień stałych konieczna jest szczelność konstrukcji [9,10]. Nieakceptowalna klinicznie szczelność brzeżna może spowodować wypłukanie cementu z biologicznymi powikłaniami takimi jak wtórna próchnica, problemy z przyzębiem oraz zapalenie miazgi [5,9]. Nierównomierna szczelina wewnętrzna może powodować wykruszanie się cementu spowodowane nierównomiernością nacisków kontaktowych w warunkach żucia i również skutkować rozszczelnieniem korony i obluzowaniem. Definicja terminu szczelności jest różna w różnych badaniach. Ponadto stosowane są różne techniki pomiaru szczelin brzeżnych i wewnętrznych [3,4,7,9]. Wraz ze zwiększającą się liczbą technik projektowania w systemie CAD/CAM w stomatologii rekonstrukcyjnej szczególnego znaczenia nabierają numeryczne metody oceny dokładności odwzorowania kształtu.

Problem dokładności odwzorowania filarów protetycznych, który stanowi podstawę docelowego wykonania optymalnej korony, szczególnie w systemach CAD/CAM, jest analizowany przez wielu badaczy [2-4,11-14]. Dotyczy on wykonawstwa różnych rozwiązań konstrukcyjnych koron. Analizowany jest w koronach na podbudowie metalowej licowanych ceramiką [1,2,15], koronach ceramicznych [15-18], koronach ceramicznych z tlenku cyrkonu stabilizowanego itrem [3,11]. Metody oceny dokładności odwzorowania filarów polegają na fizycznych pomiarach filara protetycznego i pomiarach odwzorowań wnętrza podbudowy z wykorzystaniem wycisku woskowego [1,4], wykorzystując technikę skanowania modeli referencyjnych i replik [3,4,19], analizę dopasowania korony z wykorzystaniem mikro CT [9] lub CT [20] oraz analizę kształtu z wykorzystaniem światła strukturalnego [5]. Jednak żadna z tych metod nie wykorzystuje bezstronnego narzędzia – oceny dopasowania w automatycznej procedurze numerycznej wolnej od błędów związanych z osobą wykonującą pomiar.

Wnioski

Opracowana i zastosowana obiektywna metoda jest właściwa do kontroli i oceny odwzorowania pola protetycznego.

Zastosowany program Geomagic Qualify stanowi wiarygodne narzędzie analizy 3D do oceny procedury opracowania zęba filarowego oraz wskazania błędów kształtu opracowanej powierzchni okluzyjnej, powierzchni bocznej filara oraz błędów ukształtowania strefy stopnia.

Przeprowadzone badania pozwoliły stwierdzić, że dokładność wymiarowa modeli gipsowych filarów protetycznych w zębach przedtrzonowych i trzonowych uzyskanych z wykorzystaniem wszystkich badanych mas elastycznych, z zachowaniem reguły ich przygotowania i pobierania wycisków, wystarczająco zapewnia odwzorowanie kształtu dla dalszych procedur modelowania i wykonawstwa koron.

LITERATURA

- [1] Pieralini A.R.F., Nogueira F., Ribeiro R.F., Adabo G.L., Improvement to the marginal coping fit of commercially pure titanium cast in phosphate-bonded investment by using a simple pattern coating technique, *The Journal of prosthetic dentistry*, 108 (2012), nr.1, 51-57.
- [2] Quante K., Ludwig K., Kern M., Marginal and internal fit of metal-ceramic crowns fabricated with a new laser melting technology, *Dental Materials*, 24 (2008), nr.10, 1311-1315.
- [3] Persson A., Andersson M., Oden A., Sandborgh-Englund G., A three-dimensional evaluation of a laser scanner and a touch-probe scanner, *The Journal of prosthetic dentistry*, 95 (2006), nr.3, 194-200.
- [4] Renne W., McGill S.T., Forshee K.V., DeFee M.R., Mennito A.S., Predicting marginal fit of CAD/CAM crowns based on the presence or absence of common preparation errors, *The Journal of prosthetic dentistry*, 108 (2012), nr.5, 310-315.
- [5] Schaefer O., Watts D.C., Sigusch B.W., Kuepper H., Guentsch A., Marginal and internal fit of pressed lithium disilicate partial crowns in vitro: a three-dimensional analysis of accuracy and reproducibility, *Dental Materials*, 28 (2012), nr.3, 320-326.
- [6] Yuan F., Sun Y., Wang Y., Lv P., Computer-aided design of tooth preparations for automated development of fixed prosthodontics, *Computers in biology and medicine*, 44 (2014), 10-14.
- [7] Wöstmann B., Rehmann P., Trost D., Balkenhol M., Effect of different retraction and impression techniques on the marginal fit of crowns, *Journal of dentistry*, 36 (2008), nr.7, 508-512.
- [8] Kuchta M., Wnuk M., Modeling of resilient support of a dental prosthesis, *Przegląd Elektrotechniczny*, 86 (2010), nr.12, 79-82.
- [9] Rungruangnunt P., Kelly J.R., Adams D.J., Two imaging techniques for 3D quantification of pre-cementation space for CAD/CAM crowns, *Journal of dentistry*, 38 (2010), nr.12, 995-1000.
- [10] Laurent M., Scheer P., Dejou J., Laborde G., Clinical evaluation of the marginal fit of cast crowns-validation of the silicone replica method, *Journal of oral rehabilitation*, 35 (2008), nr.2, 116-122.
- [11] Moldovan O., Luthardt R.G., Corcodel N., Rudolph H., Three-dimensional fit of CAD/CAM-made zirconia copings, *Dental Materials*, 27 (2011), nr.12, 1273-1278.
- [12] Litzenger A.P., Hickel R., Richter M.J., Mehl A.C., Probst F.A., Fully automatic CAD design of the occlusal morphology of partial crowns compared to dental technicians' design, *Clinical oral investigations*, 17 (2013), nr.2, 491-496.
- [13] Zhou L.B., et al., Accurate reconstruction of discontinuous mandible using a reverse engineering/ computer-aided design/rapid prototyping technique: a preliminary clinical study, *J. Oral Maxillofac. Surg.*, 68 (2010), nr.9, 2115-2121.
- [14] Bindl A., Mörmann W.H., Marginal and internal fit of all-ceramic CAD/CAM crown-copings on chamfer preparations, *J. Oral Rehabil.*, 32 (2005), nr.6, 441-447.
- [15] Zhang Z., Tamaki Y., Hotta Y., Miyazaki T., Novel method for titanium crown casting using a combination of wax patterns fabricated by a CAD/CAM system and a non-expanded investment, *Dental Materials*, 22 (2006), nr.7, 681-687.
- [16] Syrek A., Reich G., Ranftl D., Klein C., Cerny B., Brodesser J., Clinical evaluation of all-ceramic crowns fabricated from intraoral digital impressions based on the principle of active wavefront sampling, *Journal of dentistry*, 38 (2010), nr.7, 553-559.
- [17] Zafiropoulos G.G., Rebbe J., Thielen U., Deli G., Beaumont C., Hoffmann O., Zirconia removable telescopic dentures retained on teeth or implants for maxilla rehabilitation. Three-year observation of three cases, *Journal of Oral Implantology*, 36 (2010), nr.6, 455-465.
- [18] Fahmy N.Z., Influence of veneering materials on the marginal fit and fracture resistance of an alumina core system, *Journal of Prosthodontics*, 20 (2011), nr.1, 45-51.
- [19] Nicoll R.J., Sun A., Haney S., Turkylmaz I., Precision of fit between implant impression coping and implant replica pairs for three implant systems, *The Journal of prosthetic dentistry*, 109 (2013), nr.1, 37-43.
- [20] Polakowski K., Filipowicz S.F., Sikora J., Rymarczyk T., Quality of Imaging in Multipath Tomography, *Przegląd Elektrotechniczny*, 85 (2009), nr.12, 134-136.

Autorzy: dr n. med. Wojciech Ryniewicz, Uniwersytet Jagielloński, Collegium Medicum, Wydział Lekarski, Katedra Protetyki Stomatologicznej, ul. Montelupich 4, 31-155 Kraków, E-mail: wojciech@ryniewicz.pl; dr hab. inż. Anna M. Ryniewicz, prof. AGH, Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Katedra Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, E-mail: anna@ryniewicz.pl; mgr inż. Łukasz Bojko, Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Katedra Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, E-mail: lbojko@agh.edu.pl